

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant(s): UNNO, et al.

Group Art Unit: 1604

Serial No.: 09/934,947

Examiner:

Filed: August 22, 2001

For: OPTICAL ELEMENT AND MANUFACTURING METHOD THEREFOR
CERTIFICATE OF MAILING (37 C.F.R. §1.8(a))

Commissioner for Patents
Washington, D.C. 20231

Sir:

I hereby certify that the attached:

1. Claim to Convention Priority
2. Two Priority Documents
3. Return Receipt Postcard

along with any paper(s) referred to as being attached or enclosed and this Certificate of Mailing are being deposited with the United States Postal Service on date shown below with sufficient postage as first-class mail in an envelope addressed to the: Commissioner for Patents, Washington, D.C. 20231.

Respectfully submitted,
MORGAN & FINNEGAN, L.L.P.

Dated: December¹⁰, 2001

By: _____

Helen Tiger

Correspondence Address:

MORGAN & FINNEGAN, L.L.P.
345 Park Avenue
New York, NY 10154-0053
(212) 758-4800 Telephone
(212) 751-6849 Facsimile

RECEIVED

FEB 15 2002

TECH CENTER 1600/2900

RECEIVED

FEB 22 2002

TC 1700



27123

PATENT TRADEMARK OFFICE

COPY OF PAPERS

ORIGINALLY FILED Docket No. 1232-4756

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant(s): UNNO, et al.

Group Art Unit: 1604

Serial No.: 09/934,947

Examiner:

Filed: August 22, 2001

For: OPTICAL ELEMENT AND MANUFACTURING METHOD THEREFOR

CLAIM TO CONVENTION PRIORITYCommissioner for Patents
Washington, D.C. 20231

Sir:

RECEIVED
FEB 15 2002
TECH CENTER 1600/2900

In the matter of the above-identified application and under the provisions of 35 U.S.C. §119 and 37 C.F.R. §1.55, applicant(s) claim(s) the benefit of the following prior application(s):

Application(s) filed in: Japan
In the name of: Canon Kabushiki KaishaSerial No(s): 2001-234254
Filing Date(s): June 27, 2001Serial No(s): 2001-244970
Filing Date(s): July 6, 2001**RECEIVED**
FEB 28 2002
TC 1700

- ☒ Pursuant to the Claim to Priority, applicant(s) submit(s) a duly certified copy of said foreign application.
- ☐ A duly certified copy of said foreign application is in the file of application Serial No. _____, filed _____.

Respectfully submitted,
MORGAN & FINNEGAN, L.L.P.

Dated: December 10, 2001

By: _____

Joseph A. Calvaruso
Joseph A. Calvaruso
Registration No. 28,287

Correspondence Address:

MORGAN & FINNEGAN, L.L.P.
345 Park Avenue
New York, NY 10154-0053
(212) 758-4800 Telephone
(212) 751-6849 Facsimile

RECEIVED
FEB 28 2002
TC 1700



日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2001年 6月27日

出 願 番 号

Application Number:

特願2001-234254

出 願 人

Applicant(s):

キヤノン株式会社

RECEIVED

FEB 15 2002

TECH CENTER 1600/2900

RECEIVED

FEB 28 2002

TC 1700

2001年11月16日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

及 川 耕 造

出証番号 出証特2001-3100535

【書類名】 特許願

【整理番号】 4507010

【提出日】 平成13年 6月27日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H01L 21/027
G03F 7/20 521

【発明の名称】 光学素子及び製造方法

【請求項の数】 19

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社
社内

 【氏名】 竹内 誠二

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社
社内

 【氏名】 阿吽野 靖行

【特許出願人】

 【識別番号】 000001007

 【氏名又は名称】 キヤノン株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100110412

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 藤元 亮輔

 【電話番号】 03-3523-1227

【提出物件の目録】

 【物件名】 明細書 1

 【物件名】 図面 1

 【物件名】 要約書 1

 【包括委任状番号】 0010562

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光学素子及び製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 等軸晶系結晶の結晶方位に関する $[0 \ 0 \ 1]$ 軸と光軸とのなす角度が 10° 未満である光学素子。

【請求項 2】 等軸晶系結晶の結晶方位に関する $[0 \ 0 \ 1]$ 軸と用いられる光学系の光軸とのなす角度が 10° 未満である光学素子。

【請求項 3】 等軸晶系結晶を成長させる工程と、
前記成長された等軸晶系結晶から光学素子を成形する工程とを有し、
前記成長工程は、成長する結晶の面方位が $\langle 0 \ 0 \ 1 \rangle$ 面となるように成長を制御するステップを有する光学素子の製造方法。

【請求項 4】 等軸晶系結晶を成長させる工程と、
前記成長された等軸晶系結晶から光学素子を成形する工程とを有し、
前記成形ステップは、前記成長された等軸晶系結晶を $\langle 0 \ 0 \ 1 \rangle$ 面に関し切り出すことを特徴とする光学素子の製造方法。

【請求項 5】 請求項 3 又は 4 記載の製造方法によって製造される光学素子

【請求項 6】 前記光学素子は、前記等軸晶系結晶の結晶方位に関する $[0 \ 0 \ 1]$ 軸と当該光学素子に入射する光線の光軸とのなす角度が 10° 未満である請求項 5 記載の光学素子。

【請求項 7】 前記等軸晶系結晶は弗化カルシウムであることを特徴とする請求項 1、2、5 又は 6 記載の光学素子。

【請求項 8】 前記等軸晶系結晶は弗化バリウムであることを特徴とする請求項 1、2、5 又は 6 記載の光学素子。

【請求項 9】 前記等軸晶系結晶は弗化ストロンチウムであることを請求項 1、2、5 又は 6 記載の特徴とする光学素子。

【請求項 10】 請求項 1、2、5、6、7、8 又は 9 記載の光学素子を有する投影光学系。

【請求項 11】 請求項 1、2、5、6、7、8 又は 9 記載の光学素子を像

側の光学部材に有する縮小投影光学系。

【請求項 1 2】 光線と光軸のなす最大角度が光学素子内で 25° 以上となる光学部材が請求項 1、2、5、6、7、8 又は 9 記載の光学素子を有する投影光学系。

【請求項 1 3】 請求項 1、2、5、6、7、8 又は 9 記載の光学素子を有する投影光学系において、 $[0 \ 0 \ 1]$ 軸と垂直な $[0 \ 1 \ 0]$ 軸が、投影する物体のパターンの特徴的な方向に対して 10° 以上ずれている投影光学系。

【請求項 1 4】 前記物体の特徴的な方向は、前記物体の一方向に関し 0° 、 45° 、又は 90° である請求項 1 3 記載の投影光学系。

【請求項 1 5】 請求項 1、2、5、6、7、8 又は 9 記載の光学素子を 2 有し、一の光学素子の $[0 \ 0 \ 1]$ 軸と垂直な $[0 \ 1 \ 0]$ 軸がそれと異なる光学素子の $[0 \ 0 \ 1]$ 軸と垂直な $[0 \ 1 \ 0]$ 軸とが互いに $45 \pm 10^\circ$ 以内であるように 2 つの前記光学素子を光軸回りにずらして配置する投影光学系。

【請求項 1 6】 請求項 1、2、5、6、7、8 又は 9 記載の光学素子を n 個有し、一の光学素子の $[0 \ 0 \ 1]$ 軸と垂直な $[0 \ 1 \ 0]$ 軸がそれと異なる光学素子の $[0 \ 0 \ 1]$ 軸と垂直な $[0 \ 1 \ 0]$ 軸とが互いに $90/n \pm 10^\circ$ 以内であるように n 個の前記光学素子を光軸回りにずらして配置する投影光学系。

【請求項 1 7】 波長が 200 nm 以下の光源を用いる請求項 1 0 乃至 1 6 のうちいずれか一項記載の投影光学系。

【請求項 1 8】 前記光源は Ar F エキシマレーザーである請求項 1 7 記載の投影光学系。

【請求項 1 9】 前記光源は F_2 エキシマレーザーである請求項 1 7 記載の投影光学系。

【請求項 2 0】 レンズ、回折格子、平行平板、光学膜体及びそれらの複合体の一つである請求項 1、2、5、6、7、8 又は 9 記載の光学素子。

【請求項 2 1】 紫外光、遠紫外光及び真空紫外光を露光光として利用し、当該露光光を、請求項 2 0 記載の光学素子を含む光学系を介して被処理体に投影

して当該被処理体を露光する露光装置。

【請求項 2 2】 露光光を請求項 1 0 乃至 1 6 のうちいずれか一項記載の投影光学系を介して被処理体に投影して当該被処理体を露光する露光装置。

【請求項 2 3】 請求項 2 1 又は 2 2 記載の露光装置を用いて前記被処理体を投影露光するステップと、

前記投影露光された前記被処理体に所定のプロセスを行うステップとを有するデバイス製造方法。

【請求項 2 4】 請求項 2 1 又は 2 2 記載の露光装置を用いて投影露光された被処理体より製造されるデバイス。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1 】

【発明の属する技術分野】

本発明は、一般には、光学素子に係り、特に、真空紫外域から遠紫外光までの短波長範囲において用いられる弗化カルシウム (CaF_2)、弗化バリウム (BaF_2)、弗化ストロンチウム (SrF_3) 等の等軸晶系結晶よりなる光学素子及びその製造方法に関する。

【 0 0 0 2 】

【従来の技術】

近年の電子機器の小型及び薄型化の要請から電子機器に搭載される半導体素子の微細化への要求は益々高くなっており、かかる要求を満足するために露光解像度を高める提案が様々なされている。露光光源の波長を短くすることは解像度の向上に有効な一手段であるため、近年では、露光光源は Kr-F エキシマレーザー (波長約 248 nm) から Ar-F エキシマレーザー (波長約 193 nm) になろうとしており、 F_2 エキシマレーザー (波長約 157 nm) の実用化も進んでいる。弗化カルシウム単結晶 (CaF_2) は、かかる波長域の光の透過率 (即ち、内部透過率) が高いために露光光学系に使用されるレンズや回折格子などの光学素子の光学材料として最適である。また、弗化バリウム単結晶 (BaF_2) や弗化ストロンチウム単結晶 (SrF_2) も透過率が高いため、応用が検討されている。

【0003】

弗化カルシウム単結晶は、従来から、「ブリッジマン法」としても知られる）坩堝降下法によって製造されている。かかる方法は、結晶性物質の原料を坩堝内に充填し、ヒーターによる加熱により融解させた原料を坩堝を降下させて冷却することによって結晶化する方法である。この際、坩堝の下部に成長させたい面方位を持つ成長の起点となる種結晶を配置することによって、成長する結晶の面方位を制御している。弗化カルシウムは、一般的に、結晶方位 $[1 \ 1 \ 1]$ 軸に垂直な $\langle 1 \ 1 \ 1 \rangle$ 面の壁開面が扱い易く、更に $[1 \ 1 \ 1]$ 軸方向の光線に関し光弾性による複屈折の影響が少ないという長所を有する。その製造に際し弗化カルシウムは、 $\langle 1 \ 1 \ 1 \rangle$ 面に配向する種結晶を用いてかかる面方位に制御されて成長させる、又は、結晶の $\langle 1 \ 1 \ 1 \rangle$ 面を切り出すことにより所望の光学素子に形成され、 $\langle 1 \ 1 \ 1 \rangle$ 面を光線入射面とする光学素子として実現されていた。これより、かかる光学素子よりなる光学系の光軸は $[1 \ 1 \ 1]$ 軸と一致され、光学素子（又は光学系）の光学特性を向上に寄与していた。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、弗化カルシウムは、理想的な応力歪みがない結晶が成長できたとしても、使用する波長が短くなると潜在的な複屈折（潜在複屈折）が存在し、かかる潜在複屈折が光学素子の光学特性、ひいては露光装置の結像性能を悪化させるという問題を有する。このことは2001年5月にDana Pointにて開催された、2nd International Symposium on 157nm LithographyにおいてBurnettらによって発表された。弗化カルシウムの潜在複屈折の最大値は、彼らの実験値を参照するに、波長157nmで最大6.5nm/cmであり、かかる最大値を示す方向は $[1 \ 1 \ 0]$ 軸方向など12の方向に存在する。

【0005】

従来の露光装置、特に投影光学系において、上述した $\langle 1 \ 1 \ 1 \rangle$ 面を用いる光学素子は、光軸である $[1 \ 1 \ 1]$ 軸と最大の複屈折を示す $[1 \ 1 \ 0]$

】軸が 35.26° しか離れていない。例えば、弗化カルシウムにおいて $[1\ 1\ 0]$ 軸を通る光束のNAは波長 193 nm では 0.87 、波長 157 nm においては 0.90 である。特に、近年の露光装置においては、解像度の向上に起因し投影光学系のNAは増大傾向にあり、かかるNAは 0.65 から 0.80 のものが主流となっている。よって、光線の最大角が最大となるウェハ側に近い投影光学系の光学素子では、 $[1\ 1\ 0]$ 軸に近い潜在複屈折の値が大ききところを光線が通過してしまう。これにより、従来の露光装置では結像性能よく露光することが困難となる。

【0006】

【課題を解決するための手段】

そこで、本発明は、高NAにおける潜在複屈折の影響を低減可能な光学素子及び製造方法、露光装置及びデバイス製造方法を提供することを例示的目的とする。

【0007】

以下、説明は特に弗化カルシウムにおいて記載するが、同じ結晶性質を有する等軸晶系の結晶である、弗化バリウムと弗化ストロンチウムに関しても同様のことが言える。

【0008】

上記目的を達成するために、本発明の一側面としての光学素子は、等軸晶系結晶の結晶方位に関する $[0\ 0\ 1]$ 軸と光軸とのなす角度が 10° 未満である。

【0009】

また、本発明の一側面としての光学素子は、等軸晶系結晶の結晶方位に関する $[0\ 0\ 1]$ 軸と用いられる光学系の光軸とのなす角度が 10° 未満である。

【0010】

かかる光学素子によれば、弗化カルシウム結晶の結晶方位に関する $[0\ 0\ 1]$ 軸と当該弗化カルシウム結晶に入射する光線の光軸とのなす角度が 10° 未満である。かかる光学素子によれば、潜在複屈折は $[0\ 0\ 1]$ 軸から 45° 傾いたときに最大値となる。よって、結晶面内での光線の角度と潜在複屈折率に

関し $[1 \ 1 \ 1]$ 軸に光線の光軸を一致させた場合と $[0 \ 0 \ 1]$ 軸に光線の光軸を一致させた場合とを比べると、 $[0 \ 0 \ 1]$ 軸に光線の光軸を一致させた方が潜在複屈折のピークとなる角度を遠くすることができる。従って、 $\langle 0 \ 0 \ 1 \rangle$ 面の光学素子、即ち、光軸と $[0 \ 0 \ 1]$ 軸を一致させた光学素子 $1 \ 0 \ 0$ の方が、高 NA に対して結像性能を悪化させない。また、 $[0 \ 0 \ 1]$ 軸に光線の光軸を一致させた場合、潜在複屈折ピークは臨界角より外側に存在する。光学素子の出射面が平面であるときには、たとえ高 NA であったとしても複屈折がピークとなることを防止している。本発明の光学素子 $1 \ 0 \ 0$ は、光線の光軸と $[0 \ 0 \ 1]$ 軸とが厳密に一致することを要求しない。しかし、光学素子 $1 \ 0 \ 0$ は光軸と $[0 \ 0 \ 1]$ 軸とのなす角度が少なくとも 10° 未満となるように構成される必要がある。これにより、従来の $[1 \ 1 \ 1]$ 軸に光線の光軸を一致させた場合と実質的に同様な潜在複屈折量と結晶内での光線の角度の関係となることを防ぐことができる。また、かかる角度は、潜在複屈折のピークが臨界角内に入ることを防ぐことができる。なお、臨界角は光線の出射側の面が平面に近い場合の指標である。

【0 0 1 1】

更に、本発明の別の側面としての光学素子の製造方法は、等軸晶系結晶を成長させる工程と、前記成長された等軸晶系結晶から光学素子を成形する工程とを有し、前記成長工程は、成長する結晶の面方位が $\langle 0 \ 0 \ 1 \rangle$ 面となるように成長を制御する工程を有する。もしくは、等軸晶系結晶を成長させる工程と、前記成長された等軸晶系結晶から光学素子を成形する工程とを有し、前記成形ステップは、前記成長された等軸晶系結晶を $\langle 0 \ 0 \ 1 \rangle$ 面に関し切り出すことを特徴とする。かかる光学素子の製造方法によれば、光線の光軸が弗化カルシウムの $[0 \ 0 \ 1]$ 軸と一致する光学素子を製造可能であり、光学特性に優れた光学素子を提供することができる。かかる光学素子の製造方法は、上述した光学素子の製造方法に好適である。

【0 0 1 2】

更に、本発明の別の側面としての光学素子は、上述の製造方法により製造される。かかる製造方法により製造される光学素子によれば、上述の光学素子と同様

な作用を奏する。なお、前記光学素子は、前記光学素子は、前記等軸晶系結晶の結晶方位に関する $[0 \ 0 \ 1]$ 軸と当該光学素子に入射する光線の光軸とのなす角度が 10° 未満となることが好ましい。

【0 0 1 3】

更に、本発明の別の側面としての投影光学系は、上述したいずれかの光学素子を有する。かかる投影光学系によれば、上述した光学素子を有し同様の作用を奏する。よって、かかる投影光学系は、結像性能の向上を達成可能である。

【0 0 1 4】

以上説明した光学素子において、前記等軸晶系結晶は弗化カルシウム、弗化バリウム又は弗化ストロンチウムである。

【0 0 1 5】

更に、本発明の別の側面としての縮小投影光学系は、上述したいずれかの光学素子を像側の光学部材に有する。かかる縮小投影光学系によれば、上述した光学素子を有し同様の作用を奏すると共に、縮小投影光学系では NA が 1 番大きくなるところは像側であって、かかる光学部材に本発明を使用することで、結像性能を上げることができる。

【0 0 1 6】

更に、本発明の別の側面としての投影光学系は、光線と光軸のなす最大角度が光学素子内で 25° 以上となる光学部材が上述したいずれかの光学素子を有する。かかる投影光学系によれば、上述した光学素子を有し同様の作用を奏すると共に、 25° 以上、即ち NA が 0.65 以上の投影光学系に好適である。

【0 0 1 7】

更に、本発明の別の側面としての投影光学系は、上述したいずれかの光学素子を有する投影光学系において、 $[0 \ 0 \ 1]$ 軸と垂直な $[0 \ 1 \ 0]$ 軸が、投影する物体のパターンの特徴的な方向に対して 10° 以上ずれている。かかる投影光学系によれば、物体のパターンの特徴的な方向と、光学素子における光軸周りの潜在複屈折のピーク方向をずらすことが可能であり、結像性能をあげることができる。前記物体の特徴的な方向は、前記物体の一方向に関し 0° 、 45° 、又は 90° である。

【0 0 1 8】

更に、本発明の別の側面としての投影光学系は、上述したいずれかの光学素子を2個有し、一の光学素子の $[0 \ 0 \ 1]$ 軸と垂直な $[0 \ 1 \ 0]$ 軸がそれと異なる光学素子の $[0 \ 0 \ 1]$ 軸と垂直な $[0 \ 1 \ 0]$ 軸とが互いに $45 \pm 10^\circ$ 以内であるように2つの前記光学素子を光軸回りにずらして配置する。かかる投影光学系によれば、2の光学素子における光軸周りの潜在複屈折のピーク方向をずらすことで、良好な結像性能を得ることができる。

【0 0 1 9】

更に、本発明の別の側面としての投影光学系は、光学素子を n 個有し、一の光学素子の $[0 \ 0 \ 1]$ 軸と垂直な $[0 \ 1 \ 0]$ 軸がそれと異なる光学素子の $[0 \ 0 \ 1]$ 軸と垂直な $[0 \ 1 \ 0]$ 軸とが互いに $90/n \pm 10^\circ$ 以内であるように n 個の前記光学素子を光軸回りにずらして配置する。かかる投影光学系によれば、 n 個以上の光学素子における光軸周りの潜在複屈折のピーク方向をずらすことで、良好な結像性能を得ることができる。

【0 0 2 0】

上述した投影光学系は、波長が 200 nm 以下の光源を用いる投影光学系に好適である。かかる投影光学系によれば、潜在複屈折の影響が大きい短波長であっても、良好な結像性能を得ることができる。前記光源はArFエキシマレーザー、又は、 F_2 エキシマレーザーである。

【0 0 2 1】

更に、本発明の別の側面としての光学素子は、レンズ、回折格子、平行平板、光学膜体及びそれらの複合体の一つである。かかる光学素子によれば、上述した光学素子と同様の作用を奏する。

【0 0 2 2】

更に、本発明の別の側面としての露光装置は、紫外光、遠紫外光及び真空紫外光を露光光として利用し、当該露光光を、レンズ、回折格子、光学膜体及びそれらの複合体の一つである上述した光学素子を含む光学系を介して被処理体に投影して当該被処理体を露光する。かかる露光装置によれば、上述した光学素子を含み、結像性能よく露光することが可能である。

【 0 0 2 3 】

更に、本発明の別の側面としての露光装置は、露光光を上述したいずれかの投影光学系を介して被処理体に投影して当該被処理体を露光する。かかる露光装置によれば、上述した露光装置と同様の作用を奏する。また、かかる露光装置を使用したデバイス製造方法並びに結果物としてのデバイスも本発明の一側面として機能する。

【 0 0 2 4 】

本発明の他の目的及び更なる特徴は以下添付図面を参照して説明される好ましい実施例によって明らかにされるであろう。

【 0 0 2 5 】

【発明の実施の形態】

本発明者らは、 CaF_2 結晶の結晶方位を吟味し潜在複屈折に関し鋭意検討した結果、かかる CaF_2 結晶よりなる光学素子では従来のように $[1 \ 1 \ 1]$ 軸と光軸を一致させる場合よりも、 $[0 \ 0 \ 1]$ 軸と光軸を一致させる方が潜在複屈折の影響を低減できることを発見した。以下、図 1 乃至図 5 を参照するに、かかる理由と共に本発明の光学素子 1 0 0 及びかかる光学素子 1 0 0 を適用可能な投影光学系 2 0 0 について説明する。ここで、図 1 は、本発明の光学素子 1 0 0 を示す模式図である。図 2 は、図 1 に示す光学素子 1 0 0 を適用した投影光学系 2 0 0 を示す概略側面図である。図 3 は、波長 1 5 7 n m における弗化カルシウムの潜在複屈折量とその方位を 3 次元的に示したシミュレーション結果である。図 4 は、図 3 に示す $[0 \ 0 \ 1]$ 軸及び $[1 \ 0 \ 0]$ 軸を通る平面内における潜在複屈折量とその方位を 2 次元的に示したシミュレーション結果、並びに $[0 \ 0 \ 1]$ 軸に光軸を合わせた場合のかかる光軸と潜在複屈折ピークまでの角度を示した図である。図 5 は、結晶面内での光線の角度と潜在複屈折の関係を示した図である。図 3 及び図 4 において、原点からの距離が潜在複屈折量を示している。なお、図 3 に示される潜在複屈折は各象限において対象性を有するものであり、以下の説明では主に第 1 象限に関して説明を展開する。よって、その他の象限においても同様な結果となるため本明細書では重複する説明は省略する。なお、上段にて $[0 \ 0 \ 1]$ 軸と光軸を一致させる方が潜在複屈折の影響

を低減できると述べたが、上述した潜在複屈折の対称性より、 $[0 \ 1 \ 0]$ 軸、 $[1 \ 0 \ 0]$ 軸であっても同様な $[0 \ 0 \ 1]$ 軸と同様な作用及び効果を奏するものである。よって、本明細書中に表現される $[0 \ 0 \ 1]$ 軸は、 $[1 \ 0 \ 0]$ 軸及び $[0 \ 1 \ 0]$ 軸に代替可能であり、本明細書では $[0 \ 0 \ 1]$ 軸はそれらを総括するものであることに理解されたい。

【0026】

図3に良く示されるように、 CaF_2 単結晶は $[1 \ 1 \ 1]$ 軸における潜在複屈折は小さく、かかる観点からすると $[1 \ 1 \ 1]$ 軸が光軸と一致するようにレンズなどの光学素子を成形することは有効である。しかし、 CaF_2 は、例えば、 $[1 \ 1 \ 0]$ 軸をはじめ対称的に12方向に潜在複屈折率がピーク ($6.5 \times 10^{-7} \text{ nm/cm}$ 、Burnettらによる実験値) を示している。例えば、投影光学系において、近年の高NA化にともないNAは拡大傾向にある。 CaF_2 の $\langle 1 \ 1 \ 1 \rangle$ 面は、 $[1 \ 1 \ 1]$ 軸に一致する光線に関し複屈折は非常に小さな値となるが、 $[1 \ 1 \ 1]$ 軸から光線が傾いた場合 (即ち、NAが大きくなった場合)、上述したように傾きが 35.26° で潜在複屈折のピークに位置してしまう。 CaF_2 の波長 157 nm における臨界角は 39.9° 程度であり、高NAの光学系に適用される光学素子に $[1 \ 1 \ 1]$ 軸を適用したならば光線の最大角部分が潜在複屈折のピーク近傍になってしまい、かかる光学素子を有する投影光学系は結像性能を悪化させてしまい好ましくない。

【0027】

そこで、図1に良く示されるように、本発明の光学素子100は結晶方位に関し $[0 \ 0 \ 1]$ 軸と光軸Oとを一致させることを特徴としている。 $[0 \ 0 \ 1]$ 軸は、 $[1 \ 1 \ 1]$ 軸と同様、かかる軸における潜在複屈折の値が小さい。また、 $[0 \ 0 \ 1]$ 軸が光軸Oとなるように構成された光学素子100では、図4に良く示されるように、潜在複屈折は $[0 \ 0 \ 1]$ 軸から 45° 傾いたときに最大値となっている。そこで、図3に示すように、結晶面内での光線の角度と潜在複屈折率に関し $[1 \ 1 \ 1]$ 軸に光線の光軸を一致させた場合と $[0 \ 0 \ 1]$ 軸に光線の光軸を一致させた場合とを比べるとピークまでの距離は $35.26^\circ < 45^\circ$ となり、 $[0 \ 0 \ 1]$ 軸に光線の光軸を一致させた方が潜在

複屈折のピークとなる角度が遠くなっている。従って、 $\langle 0 \ 0 \ 1 \rangle$ 面、即ち、光軸 O と $[0 \ 0 \ 1]$ 軸を一致させた光学素子 100 の方が、高 NA に対して結像性能を悪化させないことになる。また、 $[1 \ 1 \ 1]$ 軸に光線の光軸を一致させた場合は、かかる潜在複屈折ピークは臨界角より内側に存在するが、 $[0 \ 0 \ 1]$ 軸に光線の光軸を一致させた場合、潜在複屈折ピークは臨界角より外側に存在する。従って、 $[0 \ 0 \ 1]$ 軸を使用することは、高 NA の光学系において複屈折がピークとなることを防止することができる。更には、 NA が 0.65 、 0.7 、 0.8 であっても、 $[0 \ 0 \ 1]$ 軸に光線の光軸が一致するようにした光学素子 100 の方は潜在複屈折が小さな値を示していることが理解される。

【0028】

なお、本発明の光学素子 100 において、 $[0 \ 0 \ 1]$ 軸と光線の光軸 O を一致させるように光学素子 100 を製造したとしても、実際は製造誤差などにより結晶の $[0 \ 0 \ 1]$ 軸が光学素子 100 の光軸 O と完全に一致しないことがある。よって、本発明の光学素子 100 は、光線の光軸 O と $[0 \ 0 \ 1]$ 軸とが厳密に一致することを要求しない。しかし、以下に示す理由により、光学素子 100 は光軸 O と $[0 \ 0 \ 1]$ 軸とのなす角度が少なくとも 10° 未満となるように構成される必要がある。これは、図5より説明可能であるが、仮に光学素子 100 の光軸が $[0 \ 0 \ 1]$ 軸に対して 10° 傾いていた場合、かかる光学素子 100 に光線を光軸 O と平行となるよう光を入射させたとする。しかし実際にはかかる光学素子 100 に垂直に入射した光軸は、予め $[0 \ 0 \ 1]$ 軸と光線の光軸 O とが 10° の角度差がつけられていることになる（例えば、図4の光軸が左側に 10° 傾いているものとする）。この場合、光学素子 100 は、図5に示す実線を相対的に左に 10° だけずらさなければ真の潜在複屈折に相当しない。このとき、実線と破線はほぼ一致し、従来の $[1 \ 1 \ 1]$ 軸に光線の光軸を一致させた場合と実質的に同様な潜在複屈折量と結晶内での光線の角度の関係となってしまう。（なお、仮に図4の光軸が右側に 10° 傾いた場合は、図5に示す実線を右に 10° だけずらさなければ正しい潜在複屈折にならない。このとき、図5中左側に位置する潜在複屈折のピークが臨界角内に入ってきてしまい、

これも同様に好ましくない。) また、 $[0 \ 0 \ 1]$ 軸と光軸 O が 10° 以上ずれた場合には、光軸 O と潜在複屈折ピークが近い値となり、当然このましくない。そこで、本発明はかかる弊害を防止すべく、また、製造誤差を考慮して、光学素子 100 の $[0 \ 0 \ 1]$ 軸と光軸 O とのなす角度が 10° 以内となるように制限している。

【0029】

図2に示すように、かかる光学素子 100 は投影光学系 200 に好適であり、特に、投影光学系の倍率が縮小の場合には、投影光学系の像面 P 側の位置する光学部材 $L1$ に適用されることが好ましい。なお、図2に示すように、投影光学系 200 には4枚の光学部材 $L1$ 乃至 $L4$ より構成されており、本実施形態において、像面 P 側から1枚目の光学部材 $L1$ に光学素子 100 を適用している。しかし、かかる投影光学系 200 の光学部材 $L1$ 乃至 $L4$ の数は例示的でありこれに限定されるものでない。また、投影光学系 200 は、像面 P 側で高 NA であるなら、像面 P 側から2枚目の光学部材 $L2$ にも光学素子 100 を適用しても良い。上述したように、かかる部分に位置する光学部材は光線と光軸 O のなす最大角が光学部材内で大きくなるからであり、より特定的には、かかる最大角が 25° 以上となる光学部材に関して光学素子 100 を使用することが良い。 25° は NA が 0.65 に対応し、本発明は NA 0.65 以上の高 NA に対して好適である。

【0030】

なお、図3、図6及び図7を参照するに、かかる光学素子 100 の $\langle 0 \ 0 \ 1 \rangle$ 面において、光軸 O 回りに 90° 間隔に直交する2方向として潜在複屈折のピークが存在している。ここで、図6は、図3に示すシミュレーション結果を $[0 \ 0 \ 1]$ 軸方向から見たときの潜在複屈折を示すシミュレーション結果である。図7は、光軸回りの方位角に対する潜在複屈折を示した図である。なお、図14を参照するに、 $\langle 1 \ 1 \ 1 \rangle$ 面における光軸回りの潜在複屈折は 120° 間隔でピークが出現する。ここで、図14は、図7に示す図に $\langle 1 \ 1 \ 1 \rangle$ 面における光軸回りの方位角に対する潜在複屈折を加えた図である。図に良く示されるように、光軸回りの方位角に対する潜在複屈折は $\langle 1 \ 1 \ 1 \rangle$ 面よりも $\langle 0 \ 0 \ 1 \rangle$ 面のほうが相対的に低い値を示し、かかる点からも本発明の光学

素子 1 0 0 は潜在複屈折の影響を受けにくいことが理解できる。

【 0 0 3 1 】

一方、図 8 を参照するに、投影光学系が結像する物体 M のパターンは、典型的に、 0° 、 45° 、 90° などの特徴的な角度のパターンを多用することが多い。ここで、図 8 は、図 2 に示す投影光学系 2 0 0 を示す概略斜視図である。なお、図 8 において、投影光学系 2 0 0 の光学部材の一部はその図示を省略されている。このような特徴的なパターンは、例えば、物体 M の一方向（例えば、y 方向）を基準に、パターンが 0° 、 45° 又は 90° となるように形成されるパターン、又は、これらのパターンを複数組み合わせるパターンである。図 8 には、y 方向を基準に 0° となるパターンとして描かれている。投影光学系 2 0 0 がかかるパターンを結像する場合、潜在複屈折の 2 方向のうちいずれか一方向と物体 M のパターンを結像する光束の光路とが一致すると、結像性能が悪化してしまう。よって、本発明の光学素子 1 0 0 を有する投影光学系 2 0 0 は、潜在複屈折のピークのうちいずれか一つとかかるパターン方向とが一致しないように 10° 以上ずらして光学部材 L 1 を配置することが望ましい。

【 0 0 3 2 】

また、投影光学系 2 0 0 において、2 の光学部材 L 1 及び L 2 に光学素子 1 0 0 を適用するのであれば、図 9 に示すように、かかる光学部材 L 1 及び L 2 のうちいずれか一方の $[0 \ 0 \ 1]$ 軸と直交する $[0 \ 1 \ 0]$ 軸（又は、 $[1 \ 0 \ 0]$ 軸）が他方の $[0 \ 1 \ 0]$ 軸（又は、 $[1 \ 0 \ 0]$ 軸）が光軸周りに 45° ずらして配置されていることが好ましい。ここで、図 9 は、図 2 に示す投影光学系 2 0 0 の例示的一態様を示した概略斜視図である。図 8 において、投影光学系 2 0 0 の光学部材の一部はその図示を省略されている。これは、2 の光学素子 1 0 0 を有する投影光学系 2 0 0 では、直交する 2 方向として現れる潜在複屈折のピークが重ならない方が、投影光学系 2 0 0 の光学特性を上げることができるからである。なお、投影光学系 2 0 0 が、光学素子 1 0 0 を n 個有するのであれば、一の光学素子の $[0 \ 0 \ 1]$ 軸と垂直な $[0 \ 1 \ 0]$ 軸がそれと異なる光学素子の $[0 \ 0 \ 1]$ 軸と垂直な $[0 \ 1 \ 0]$ 軸とが互いに $90/n \pm 10^\circ$ 以内であるように n 個の前記光学素子を光軸回りにずらして配置する

【0033】

以下、坩堝降下法を利用した本発明の CaF_2 結晶及び光学素子100の製造方法1000について説明する。但し、本発明は坩堝降下法に限定されるものではない。図10に、本発明の CaF_2 を使用した光学素子100の製造方法のフローチャートを示す。まず、原料として高純度 CaF_2 の合成原料を用意して、 CaF_2 原料とスカベンジャーとを混合する（ステップ1100）。高純度 CaF_2 の合成原料は炭酸カルシウムをフッ酸で処理することによって製造する。本発明は CaF_2 原石をフッ酸で処理して不純物（例えば、 SiO_2 ）を除去する方法を排除するものではないが、高純度 CaF_2 は原石と違って粉末であり、嵩密度が（約10乃至約20 μ と）非常に少ないので好ましい。なお、 CaF_2 原料とスカベンジャーとを容器（又は坩堝）を混合する時は容器を回転して均一な混合を確保することが好ましい。

【0034】

スカベンジャーとしては、弗化亜鉛、弗化カドミウム、弗化マンガン、弗化ビスマス、弗化ナトリウム、弗化リチウム等、成長させる弗化物より酸素と結合し易いものが望ましい。弗化物原料中に混じっている酸化物と反応して気化し易い酸化物となる物質が選択される。とりわけ弗化亜鉛が望ましいものである。

【0035】

こうして得られた弗化カルシウムの粉末とスカベンジャーの混合物に対して精製処理がなされる（ステップ1200）。精製処理は、不純物（例えば、炭酸）を除去して弗化カルシウムを高純度化する工程であり、脱水、スカベンジング反応、スカベンジャー生成物の除去、溶融及び固化の作用を含む。精製処理においては、混合物は精製炉の坩堝の中に入れられる。その後、ヒーターに通電して坩堝内の混合物を加熱し、脱水を行う。

【0036】

次に、精製した結晶を2次原料として、図示しない結晶成長炉において弗化カルシウムの単結晶を成長させる（ステップ1300）。成長方法は結晶の大きさや使用目的に応じて適当な方法を選択するが、例えば、ブリッジマン法を用いて

坩堝を徐々に引き下げ冷却して単結晶を成長させることができる。この際、坩堝の下部に成長させたい面方位、即ち $\langle 0 \ 0 \ 1 \rangle$ 面を持つ成長の起点となる種結晶を配置することによって、成長する結晶の面方位を制御する（ステップ 1 3 1 0）必要がある。

【 0 0 3 7 】

その後、ヒーターに通電して坩堝内の弗化カルシウム原料（結晶）を約 1 3 9 0 乃至 1 4 5 0℃程度まで加熱し、弗化カルシウム結晶を完全に溶融する。その後、徐々に坩堝を 0. 1 乃至 5. 0 mm/h の速度で降下させて（所定の温度勾配を通過させ、）溶融した弗化カルシウム結晶を徐冷して種結晶を基にして単結晶を成長させる。

【 0 0 3 8 】

続いて、結晶成長したフッ化物単結晶をアニール炉で熱処理する（アニール工程）（ステップ 1 4 0 0）。アニール工程は、成長した弗化カルシウム単結晶を熱処理し、結晶の割れを引き起こす歪みを除去する工程である。成長した単結晶はアニール炉のチャンバーに収納された坩堝内に入れる。

【 0 0 3 9 】

アニール工程では、坩堝を約 9 0 0℃乃至約 1 0 0 0℃に均熱的に加熱して、固体のまま弗化カルシウム結晶の歪を除去する。加熱温度を約 1 1 4 0℃以上にすると構造変化などを引き起こしてしまうので好ましくはない。加熱時間は約 2 0 時間以上、より好ましくは、約 2 0 乃至約 3 0 時間である。アニール工程では、アニールを経ることによって結晶の転位が減る。その後、歪がなくなった状態を維持しながら弗化カルシウム結晶の温度を室温に戻す。

【 0 0 4 0 】

その後、弗化カルシウム結晶を必要とされる光学素子 1 0 0 に成形する（ステップ 1 5 0 0）。光学素子 1 0 0 は、レンズ、回折格子、透明平行平板、光学膜体及びそれらの複合体、例えば、レンズ、マルチレンズ、レンズアレイ、レンチキュラーレンズ、非球面レンズ、回折格子及びそれらの複合体を含む。また、光学素子 1 0 0 は、単体のレンズ等に加えて（例えば、フォーカス制御用の）光センサーなどを含む。必要に応じて、反射防止膜をフッ化物結晶の光学物品表面

に設けるとよい。反射防止膜としては、フッ化マグネシウムや酸化アルミニウム、酸化タンタルが好適に用いられ、これらは抵抗加熱による蒸着や電子ビーム蒸着やスパッタリングなどで形成できる。

【0041】

なお、本実施形態においては、面方位を考慮して弗化カルシウム結晶を作成したが、かかる方法に限定されるものではない。例えば、弗化カルシウム結晶をブリッジマン法により製造する場合に、成長方位に優位性をなくし、結晶成長毎に弗化カルシウムの水平面がランダムな面となるように製造しても良い。この場合、結晶成長により得られた弗化カルシウム結晶から、或は、結晶成長により得られ、さらにアニール処理した弗化カルシウム結晶から、 $\langle 0 \ 0 \ 1 \rangle$ 面が平行2平面となるようにかかる弗化カルシウム結晶を切り出し、その後かかる部材を熱処理することによりその光学特性を向上させるでも良い。

【0042】

かかる工程において、 $\langle 0 \ 0 \ 1 \rangle$ 面が平行平面となるように弗化カルシウム結晶を切り出すことを特徴としている。これにより上述した潜在複屈折を考慮した光学素子100を製造することができる。

【0043】

以下、図13を参照して、本発明の例示的な露光装置1について説明する。ここで、図13は、本発明の例示的な露光装置1の概略断面図である。露光装置1は、図13に示すように、照明装置10と、レチクル20と、投影光学系30と、プレート40と、ステージ45とを有する。露光装置1は、ステップアンドリピート方式又はステップアンドスキャン方式でレチクル20に形成された回路パターンをプレート40に露光する走査型投影露光装置である。

【0044】

照明装置10は転写用の回路パターンが形成されたレチクル20を照明し、光源部12と照明光学系14とを有する。

【0045】

光源部12は、例えば、光源としてレーザーを使用する。レーザーは、波長約193nmのArFエキシマレーザー、波長約157nmのF₂エキシマレーザー

ーなどを使用することができるが、レーザーの種類はエキシマレーザーに限定されず、例えば、YAGレーザーを使用してもよいし、そのレーザーの個数も限定されない。光源部12にレーザーが使用される場合、レーザー光源からの平行光線を所望のビーム形状に整形する光線整形光学系、コヒーレントなレーザー光線をインコヒーレント化するインコヒーレント化光学系を使用することが好ましい。但し、光源部12に使用可能な光源はレーザーに限定されるものではなく、一又は複数の水銀ランプやキセノンランプなどのランプも使用可能である。

【0046】

照明光学系14はマスク20を照明する光学系であり、レンズ、ミラー、ライトインテグレーター、絞り等を含む。例えば、コンデンサーレンズ、ハエの目レンズ、開口絞り、コンデンサーレンズ、スリット、結像光学系の順で整列する等である。照明光学系14は、軸上光、軸外光を問わず使用することができる。ライトインテグレーターは、ハエの目レンズや2組のシリンドリカルレンズアレイ（又はレンチキュラーレンズ）板を重ねることによって構成されるインテグレーター等を含むが、光学ロッドや回折素子に置換される場合もある。

【0047】

レチクル20の上には転写されるべき回路パターン（又は像）が形成され、図示しないレチクルステージに支持及び駆動される。図示しないレチクルステージは、これまた図示を省略した駆動系の作用によりレチクル面に沿って二次元的に移動可能である。なお、レチクルステージの位置座標は、例えば、図示しないレチクル移動鏡を用いた干渉計によって計測され且つ位置制御されるように構成されている。レチクル20から発せられた回折光は投影光学系30を通りプレート40上に投影される。プレート40はウェハや液晶基板などの被処理体でありレジストが塗布されている。レチクル20とプレート40とは共役の関係にある。走査型投影露光装置の場合は、マスク20とプレート40を走査することによりマスク20のパターンをプレート40上に転写する。ステッパー（ステップアンドリピート露光方式の露光装置）の場合はマスク20とプレート40を静止させた状態で露光が行われる。

【0048】

投影光学系 30 は、 $1/5$ 乃至 $1/2$ の倍率を有し、レチクル 20 の回路パターンの縮小像をプレート 40 上に投影する。投影光学系 30 は、良像域が軸外の円弧である反射屈折系より成り、レチクル 20 側及びプレート 40 側において、実質的にテレセントリックとなっている。投影光学系 30 における複数の屈折光学素子（レンズ、透明板）の全てが蛍石（弗化カルシウム）より成り、これらの全て、或いは、特にプレート 40 側から数えて一枚から数枚の光学素子に本発明の光学素子 100 が使用されている。投影光学系 30 は上述した投影光学系 200 を適用可能であり、ここでの詳細な説明は省略する。なお、投影光学系 30 の最もプレート 40 側の光学素子は透明平行平板であり、収差補正上必要に応じて水平面から傾けて設けられる。但し、本発明の投影光学系 30 は、この他に複数のレンズ素子と少なくとも一枚の凹面鏡とを有する光学系（カタディオプトリック光学系）、複数のレンズ素子と少なくとも一枚のキノフォームなどの回折光学素子とを有する光学系等を使用することができる。色収差の補正が必要な場合には、互いに分散値（アッベ値）の異なるガラス材からなる複数のレンズ素子を使用したり、回折光学素子をレンズ素子と逆方向の分散が生じるように構成したりする。

【0049】

プレート 40 にはフォトレジストが塗布されている。フォトレジスト塗布工程は、前処理と、密着性向上剤塗布処理と、フォトレジスト塗布処理と、プリベーク処理とを含む。前処理は洗浄、乾燥などを含む。密着性向上剤塗布処理は、フォトレジストと下地との密着性を高めるための表面改質（即ち、界面活性剤塗布による疎水性化）処理であり、HMDS（Hexamethyl-disilazane）などの有機膜をコート又は蒸気処理する。プリベークはベーキング（焼成）工程であるが現像後のそれよりもソフトであり、溶剤を除去する。

【0050】

ステージ 45 はプレート 40 を支持する。ステージ 45 は、当業界で周知のいかなる構成をも適用することができるので、ここでは詳しい構造及び動作の説明は省略する。例えば、ステージ 45 は図示しない駆動系の作用によりプレート 40 面に沿って二次元的に移動可能であり、その位置座標は図示しないプレート移

動鏡を用いた干渉計によって計測され且つ位置制御されるように構成されている。レチクル20とプレート40は、例えば、走査型投影露光装置の場合には、同期走査され、ステージ45と図示しないレチクルステージの位置は、例えば、レーザー干渉計などにより監視され、両者は一定の速度比率で駆動される。ステージ45は、例えば、ダンパを介して床等の上に支持されるステージ定盤上に設けられ、レチクルステージ及び投影光学系30は例えば、鏡筒定盤は床等に載置されたベースフレーム上にダンパ等を介して支持される図示しない鏡筒定盤上に設けられる。

【0051】

露光において、光源部12から発せられた光線は、照明光学系14によりレチクル20を、例えば、ケーラー照明する。レチクル20を通過してマスクパターンを反映する光は投影光学系30によりプレート40に結像される。露光装置1が使用する投影光学系30は、本発明の光学素子100を含んで紫外光、遠紫外光及び真空紫外光を高い透過率で透過すると共に屈折率均質性や複屈折率が少ないので、高い解像度とスループットで経済性よくデバイス（半導体素子、LCD素子、撮像素子（CCDなど）、薄膜磁気ヘッドなど）を提供することができる。

【0052】

次に、図11及び図12を参照して、上述の露光装置1を利用したデバイスの製造方法の実施例を説明する。図11は、デバイス（ICやLSIなどの半導体チップ、LCD、CCD等）の製造を説明するためのフローチャートである。ここでは、半導体チップの製造を例に説明する。ステップ101（回路設計）ではデバイスの回路設計を行う。ステップ102（マスク製作）では、設計した回路パターンを形成したマスクを製作する。ステップ103（ウェハ製造）ではシリコンなどの材料を用いてウェハを製造する。ステップ104（ウェハプロセス）は前工程と呼ばれ、マスクとウェハを用いてリソグラフィ技術によってウェハ上に実際の回路を形成する。ステップ105（組み立て）は後工程と呼ばれ、ステップ104によって作成されたウェハを用いて半導体チップ化する工程であり、アセンブリ工程（ダイシング、ボンディング）、パッケージング工程（チップ

封入)等の工程を含む。ステップ106(検査)では、ステップ105で作成された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テストなどの検査を行う。こうした工程を経て半導体デバイスが完成し、これが出荷(ステップ107)される。

【0053】

図12は、ステップ104のウェハプロセスの詳細なフローチャートである。ステップ111(酸化)ではウェハの表面を酸化させる。ステップ112(CVD)では、ウェハの表面に絶縁膜を形成する。ステップ113(電極形成)では、ウェハ上に電極を蒸着などによって形成する。ステップ114(イオン打ち込み)ではウェハにイオンを打ち込む。ステップ115(レジスト処理)ではウェハに感光剤を塗布する。ステップ116(露光)では、露光装置1によってマスクの回路パターンをウェハに露光する。ステップ117(現像)では、露光したウェハを現像する。ステップ118(エッチング)では、現像したレジスト像以外の部分を削り取る。ステップ119(レジスト剥離)では、エッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。これらのステップを繰り返し行うことによってウェハ上に多重に回路パターンが形成される。本実施例の製造方法によれば従来よりも高品位のデバイスを製造することができる。

【0054】

以上、本発明の好ましい実施例について説明したが、本発明はこれらの実施例に限定されないことはいうまでもなく、その要旨の範囲内で種々の変形及び変更が可能である。

【0055】

【発明の効果】

本発明の光学素子及び製造方法によれば、かかる光学素子によれば、結晶面内での光線の角度と潜在複屈折率に関し $[1 \ 1 \ 1]$ 軸に光線の光軸を一致させた場合と $[0 \ 0 \ 1]$ 軸に光線光軸を一致させた場合とを比べると、 $[0 \ 0 \ 1]$ 軸に光線の光軸を一致させた方が潜在複屈折のピークとなる角度を遠くすることができる。従って、 $\langle 0 \ 0 \ 1 \rangle$ 面、即ち、光軸と $[0 \ 0 \ 1]$ 軸を一致させた光学素子100の方が、高NAに対して結像性能を悪化させない。また、 $[0 \ 0 \ 1]$ 軸に光線の光軸を一致させた場合、潜在複屈折ピークは臨界

角より外側に存在し、たとえ高NAであったとしても複屈折がピークとなることを防止することができる。また、本発明の光学系を有する投影光学系、並びに、かかる光学素子を含む露光装置及びかかる投影光学系を有する露光装置は結像性能に優れ、高品位なデバイスをスループットなどの露光性能良く提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の光学素子を示す模式図である。

【図 2】 図 1 に示す光学素子を適用した投影光学系を示す概略側面図である。

【図 3】 波長 1 5 7 n m における弗化カルシウムの潜在複屈折量とその方位を 3 次元的に示したシミュレーション結果である。

【図 4】 図 3 に示す $[0 \ 0 \ 1]$ 軸及び $[0 \ 1 \ 0]$ 軸を通る平面内における潜在複屈折量とその方位を 2 次元的に示したシミュレーション結果、並びに $[0 \ 0 \ 1]$ 軸に光軸を合わせた場合のかかる光軸と潜在複屈折ピークまでの角度を示した図である。

【図 5】 結晶面内での光線の角度と潜在複屈折の関係を示した図である。

【図 6】 図 3 にしめすシミュレーション結果を $[0 \ 0 \ 1]$ 軸方向から見たときの潜在複屈折を示すシミュレーション結果である。

【図 7】 光軸回りの方位角に対する潜在複屈折を示した図である。

【図 8】 図 2 に示す投影光学系を示す概略斜視図である。

【図 9】 図 2 に示す投影光学系の例示的一態様を示した概略斜視図である。

【図 1 0】 本発明の CaF_2 を使用した光学素子の製造方法のフローチャートを示す。

【図 1 1】 デバイス（IC や L S I などの半導体チップ、LCD、CCD 等）の製造を説明するためのフローチャートである。

【図 1 2】 図 1 1 に示すステップ 1 0 4 のウェハプロセスの詳細なフローチャートである。

【図 1 3】 本発明の例示的な露光装置の概略断面図である。

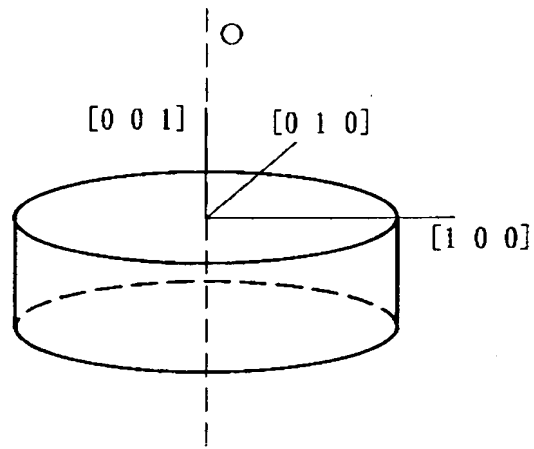
【図 1 4】 図 7 に示す図に＜ 1 1 1 ＞面における光軸回りの方位角に対する潜在複屈折を加えた図である。

【符号の説明】

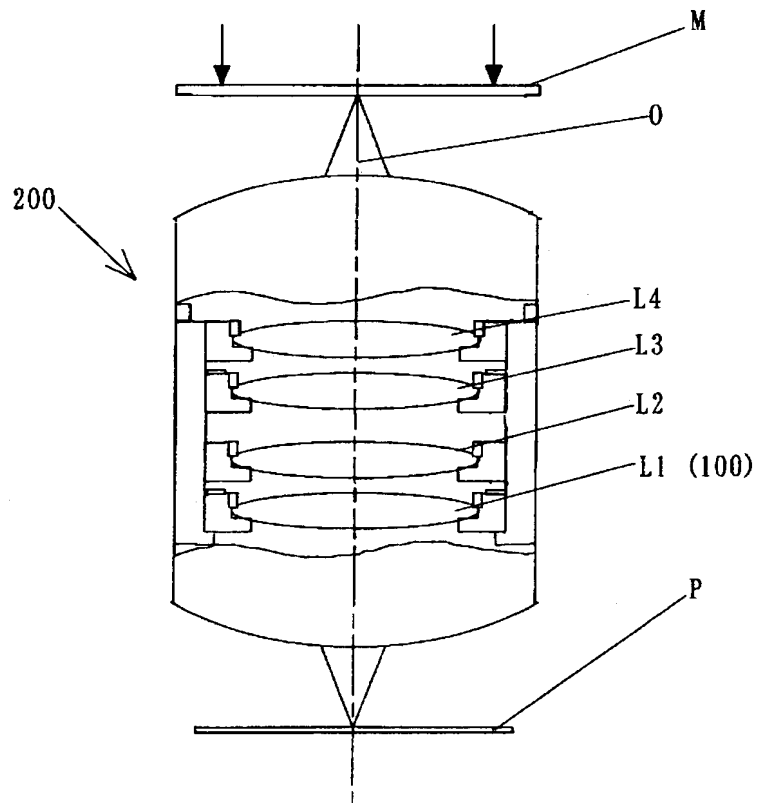
1	露光装置
1 0	照明装置
2 0	レチクル
3 0	投影光学系
4 0	プレート
4 5	ステージ
1 0 0	光学素子
2 0 0	投影光学系

【書類名】 図面

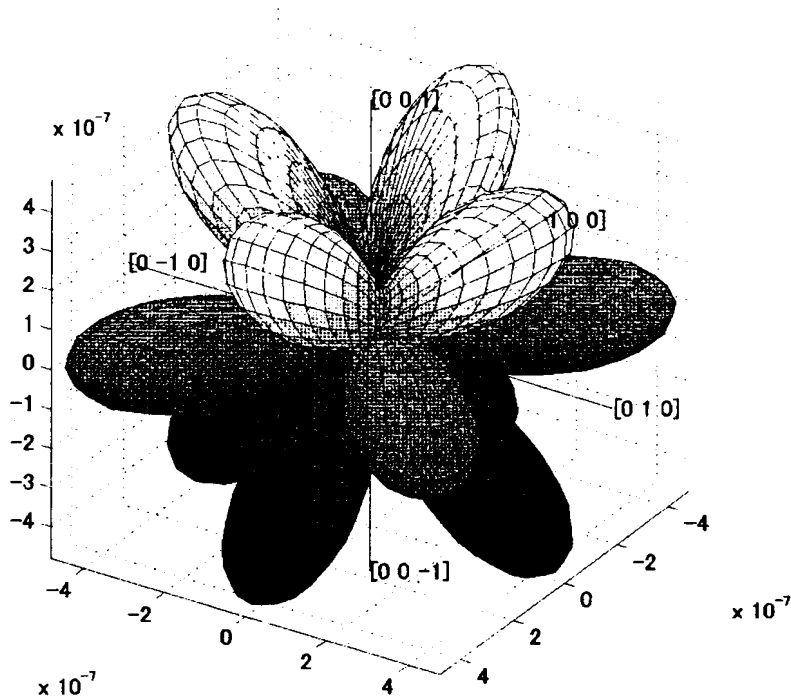
【図 1】



【図 2】

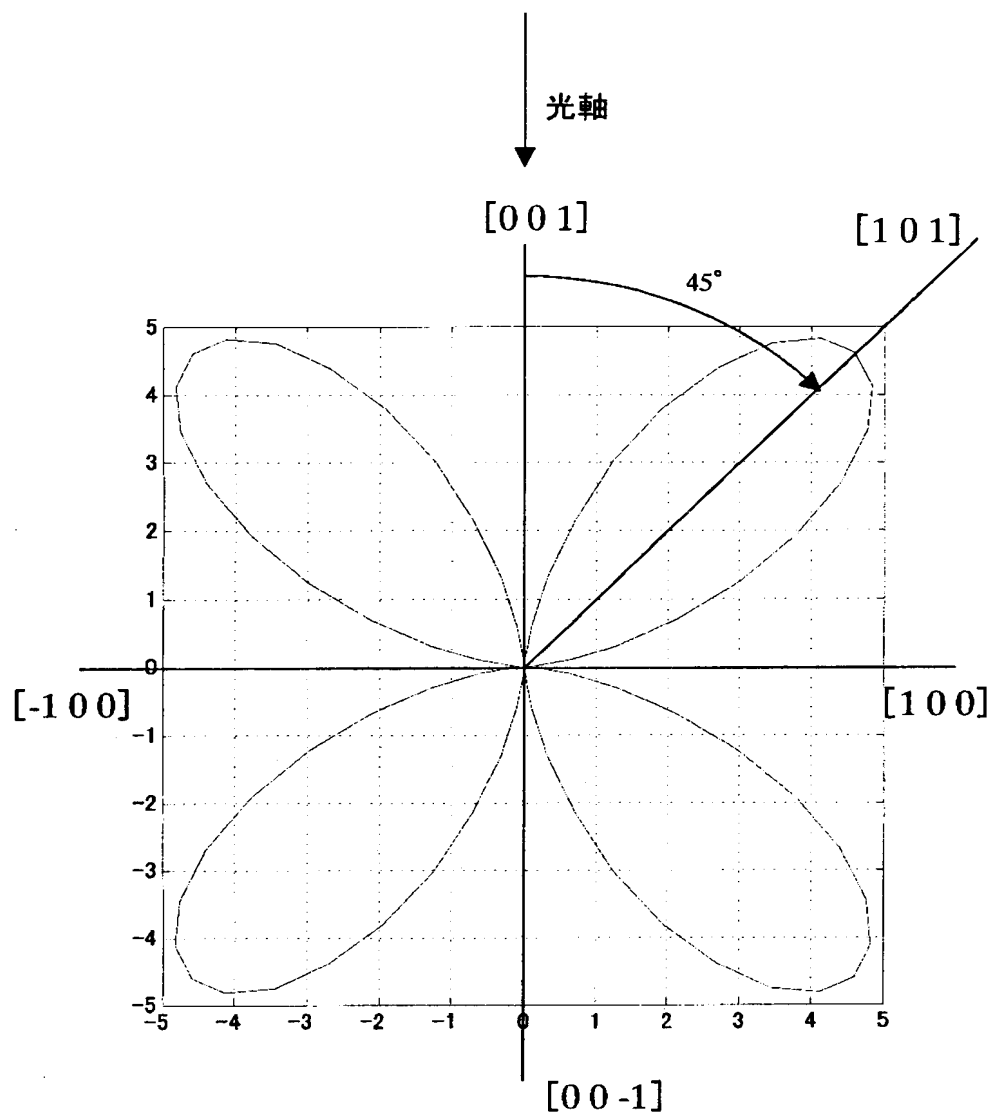


【図 3】

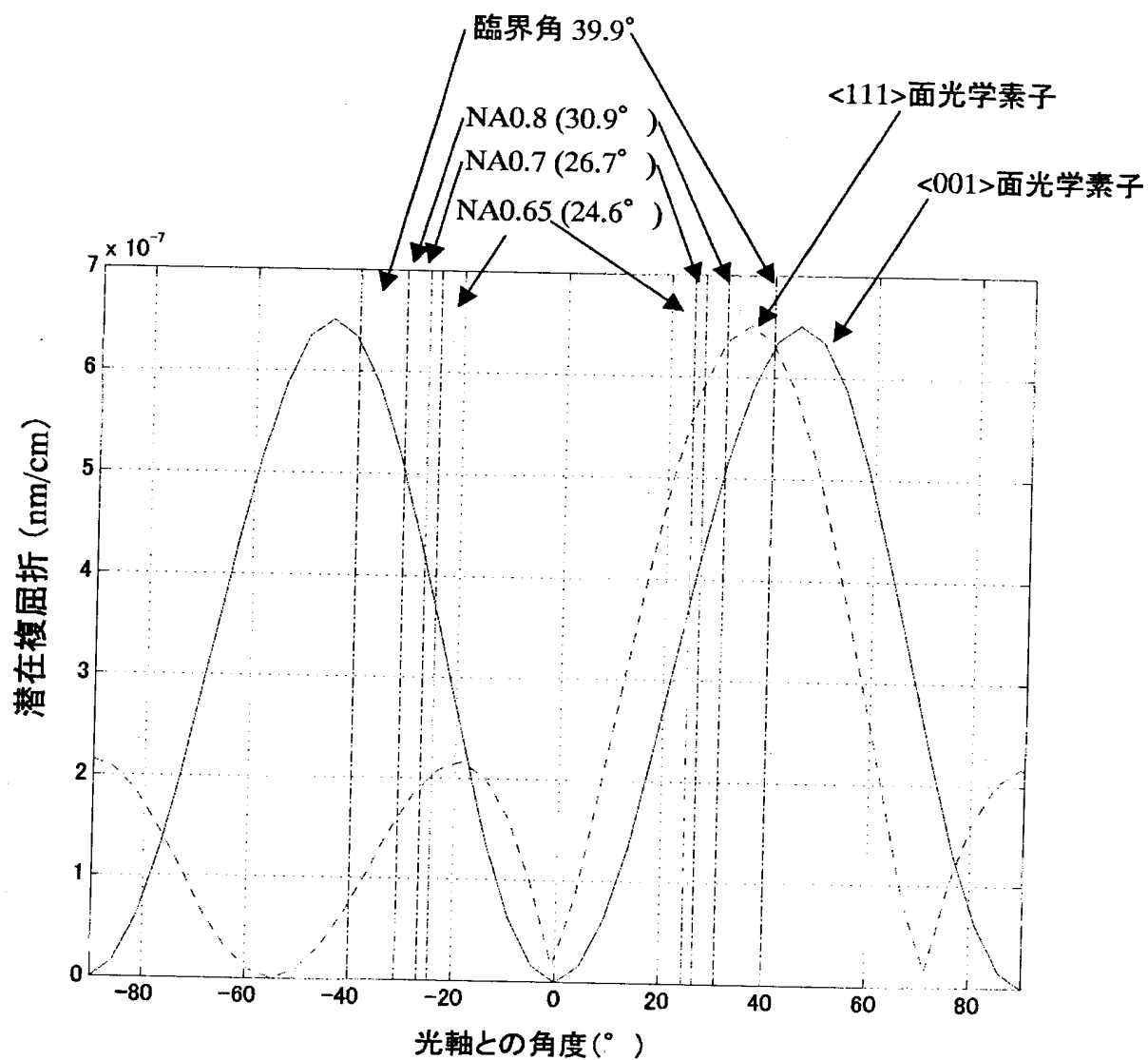


原点からの距離が潜在複屈折量
最大6.5nm/cm @波長157nm

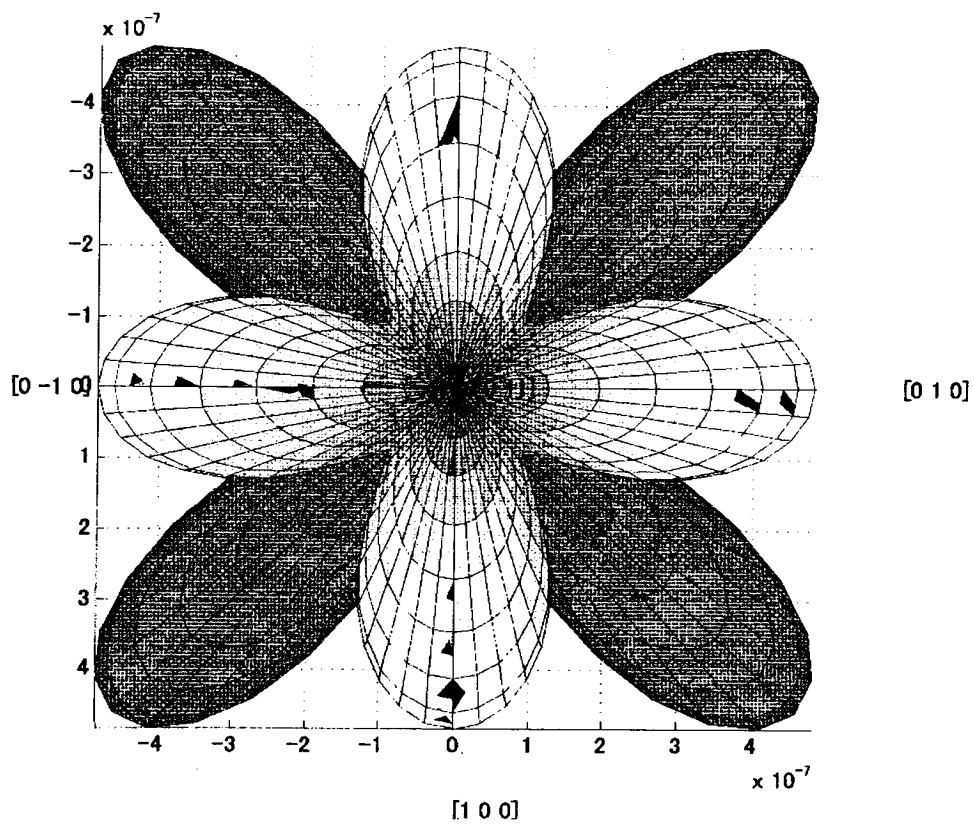
【図 4】



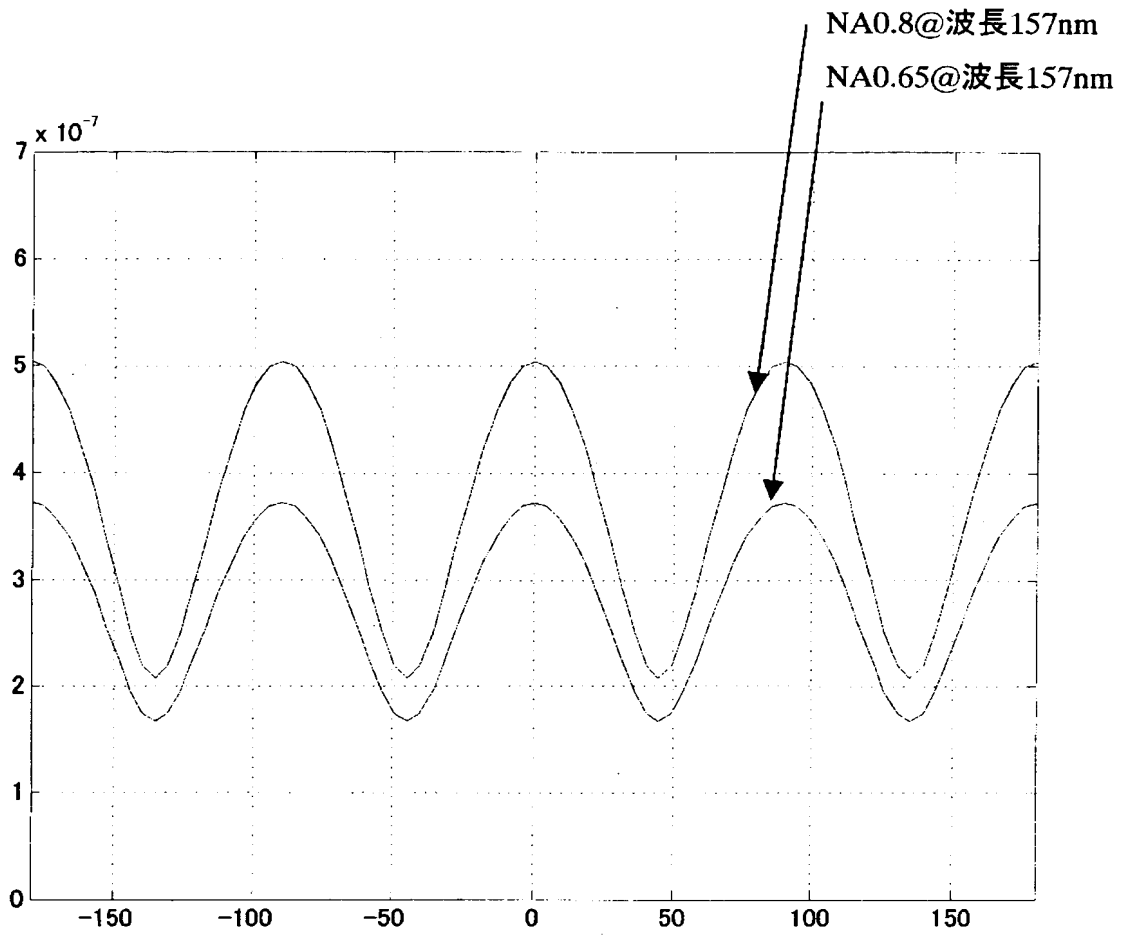
【図 5】



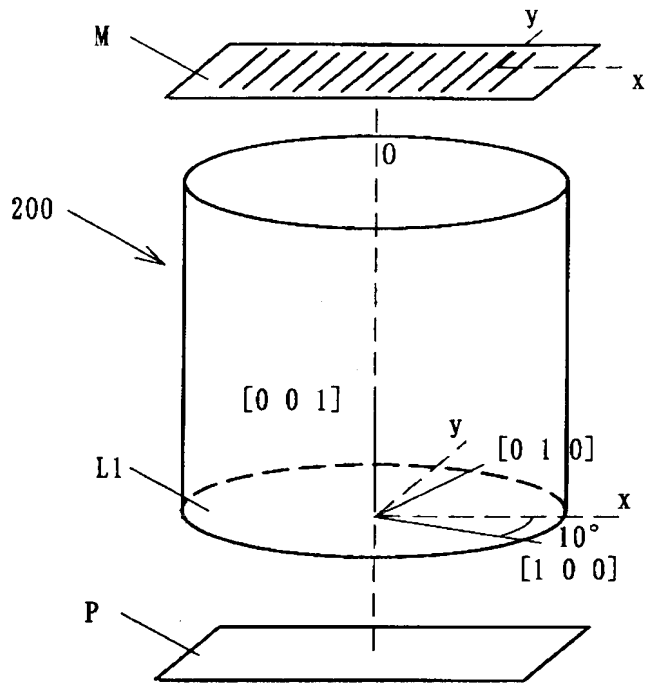
【図 6】



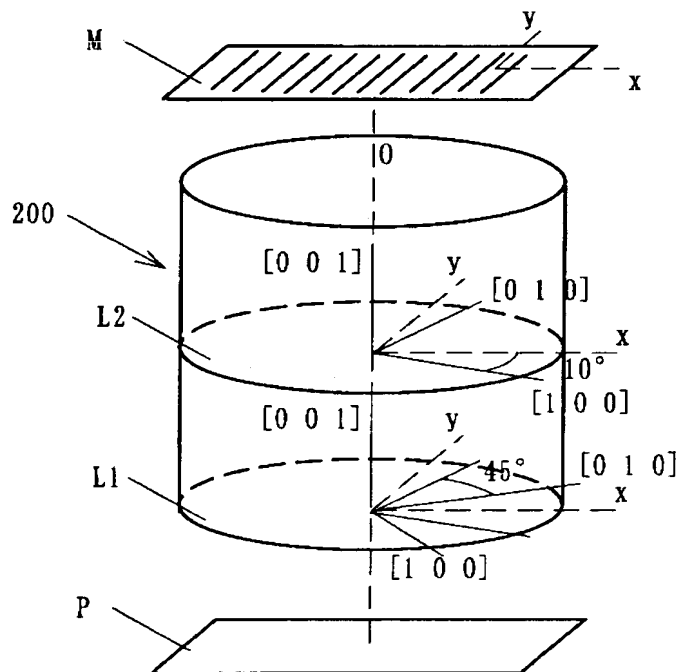
【図 7】



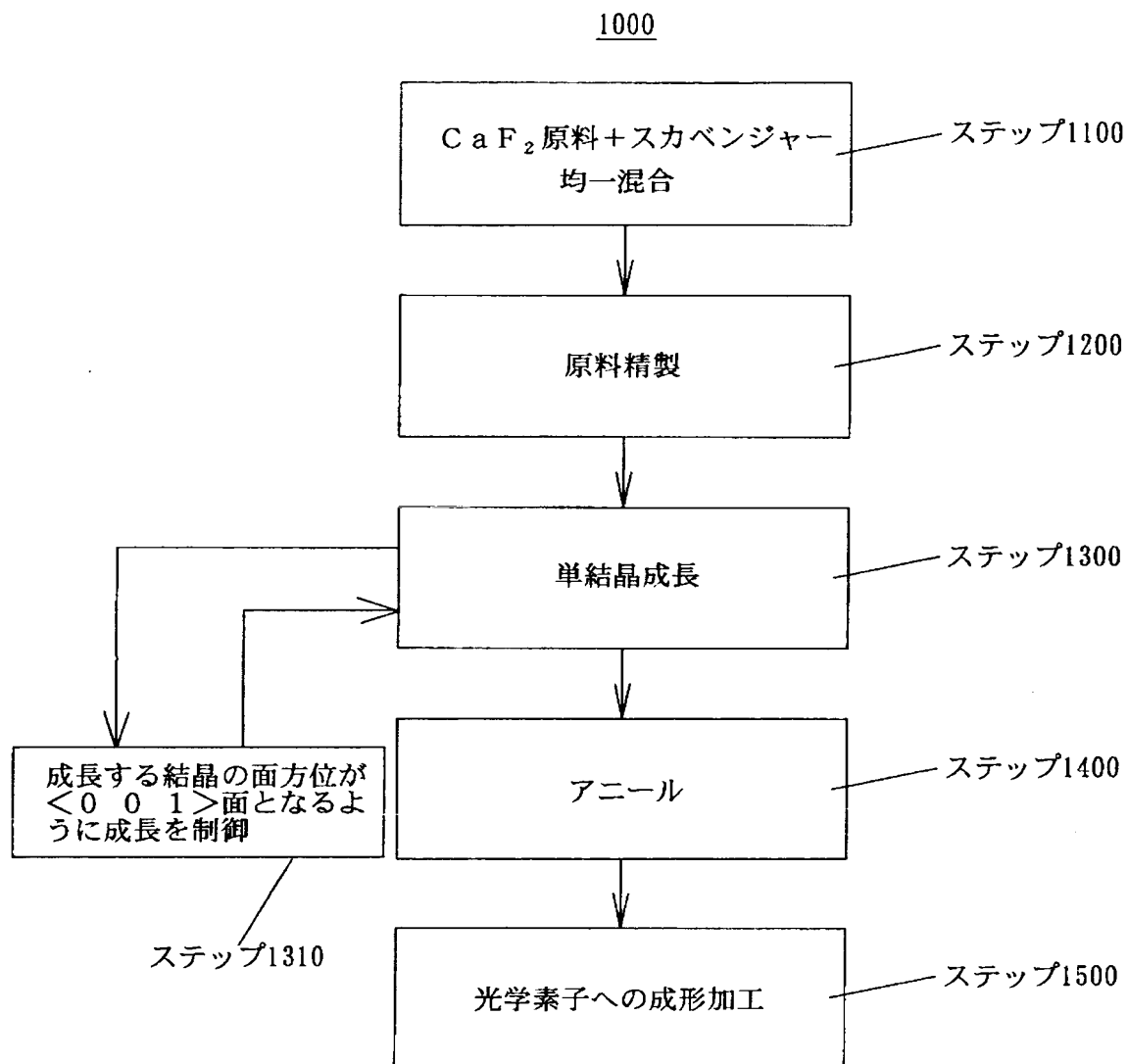
【図 8】



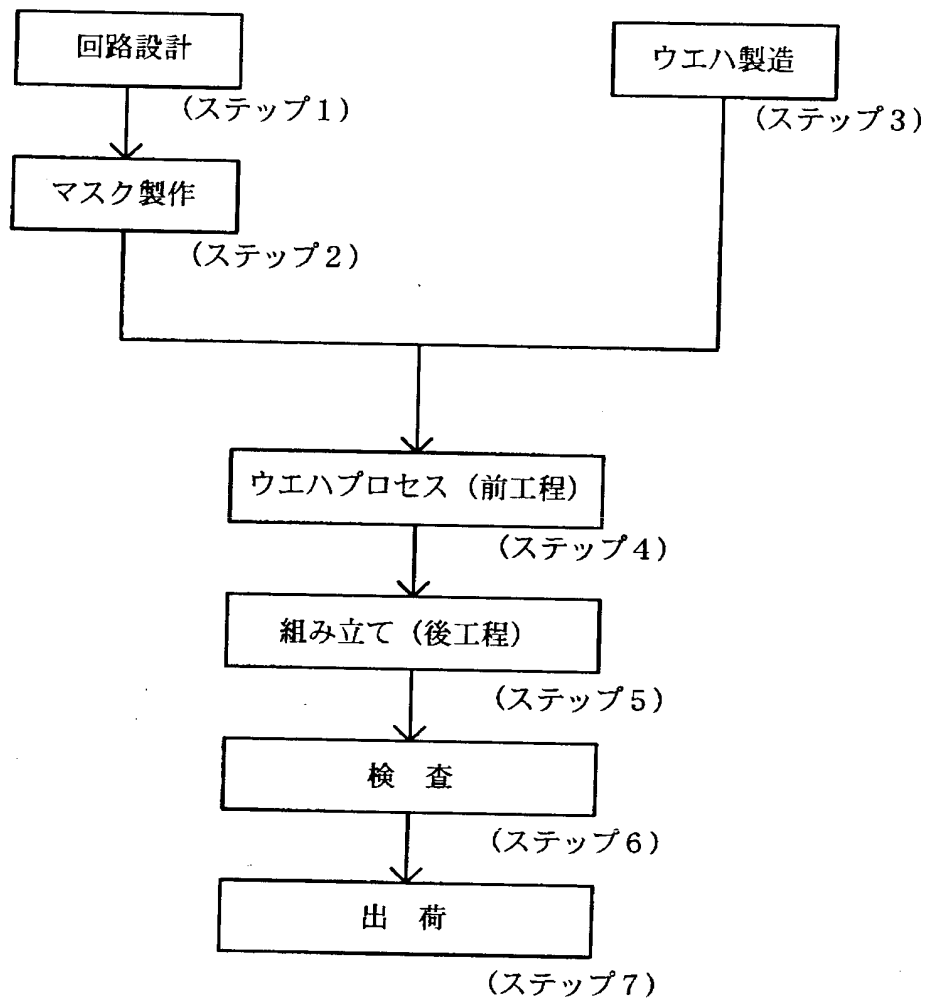
【図 9】



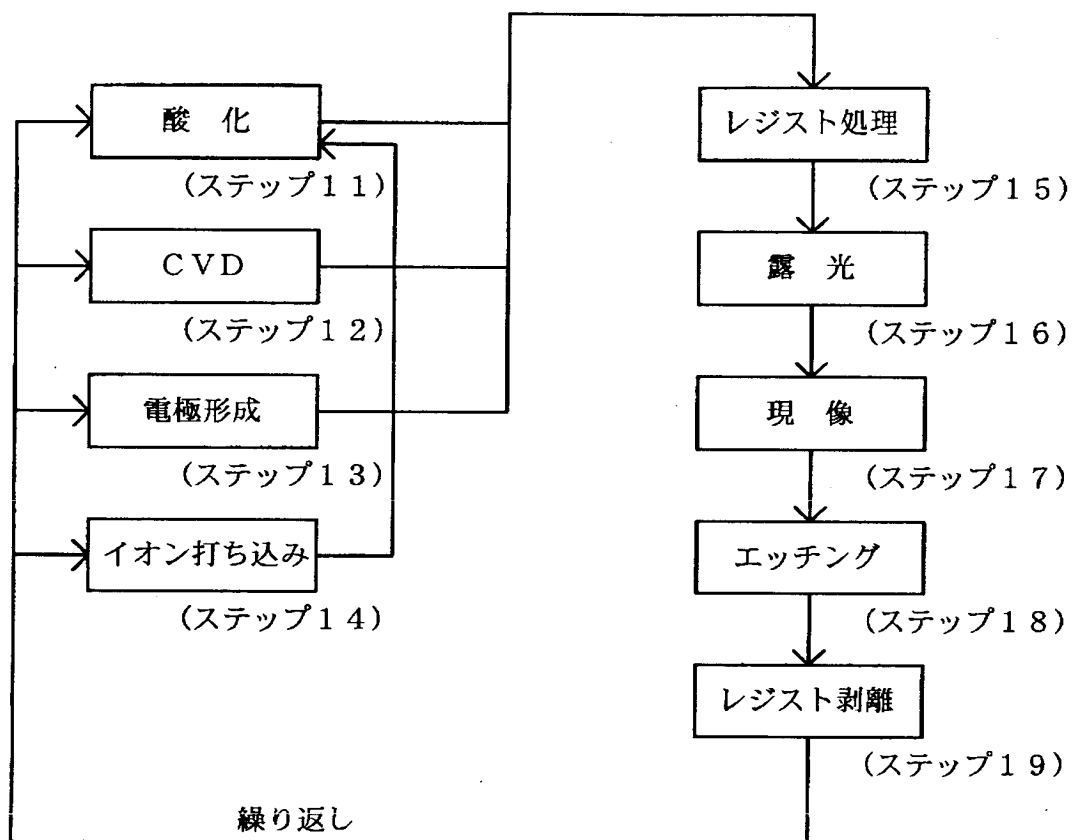
【図 1 0】



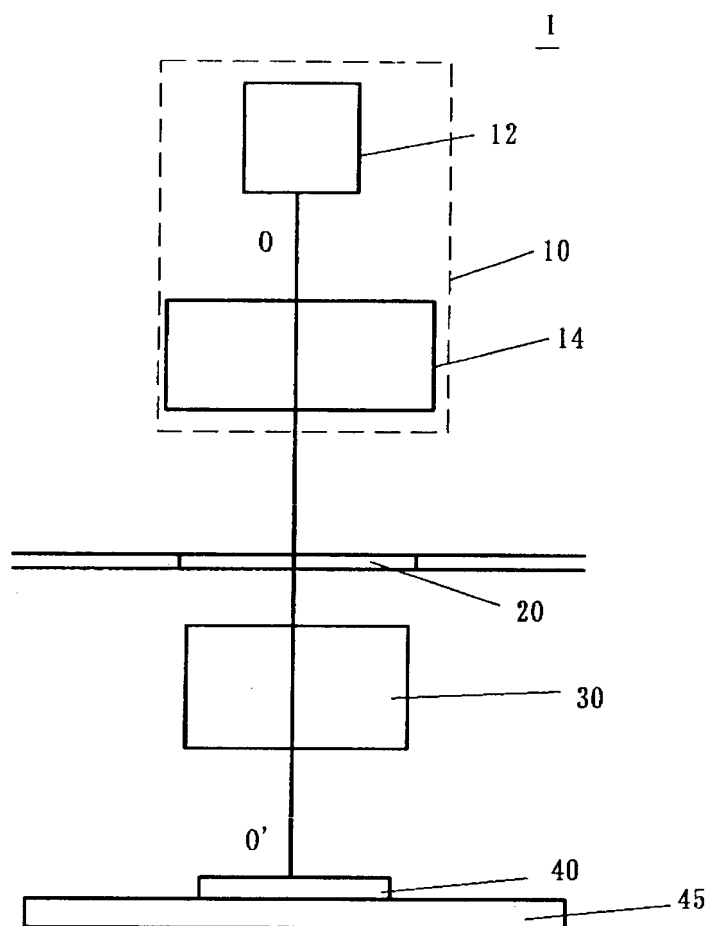
【図11】



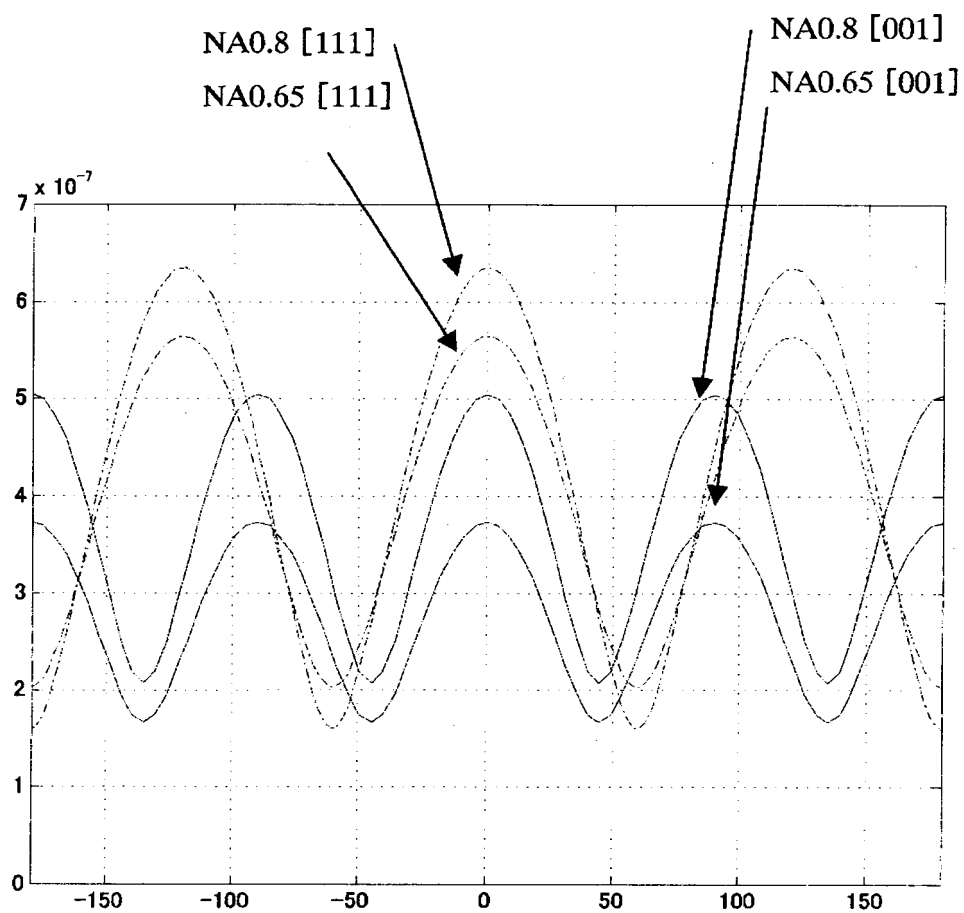
【図 1 2】



【図 1 3】



【図 1 4】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 本発明は、高NAにおける潜在複屈折の影響を低減可能な光学素子及び製造方法、露光装置及びデバイス製造方法を提供する。

【解決手段】 本発明の一側面としての光学素子は、弗化カルシウム結晶の結晶方位に関する $[0 \ 0 \ 1]$ 軸と当該弗化カルシウム結晶に入射する光線の光軸とのなす角度が 10° 未満である。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000001007]

1. 変更年月日 1990年 8月30日
[変更理由] 新規登録
住 所 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
氏 名 キヤノン株式会社